

基于电流连续性方程的电晕放电仿真及其应用

许浩琿¹, 杨勇²

1. 电气学院, 华中科技大学, 湖北, 武汉 2. 电气学院, 华中科技大学, 湖北, 武汉

简介: 电晕放电的数值模拟十分困难。时至今日, 在相对较大的空间尺度仍未出现较为精确的仿真方法与模型。本文利用电流连续性原理, 并结合经验公式, 提出一种具有自洽性以及工程实用性的简化模型, 大大提高了电晕放电计算的效率, 节约计算内存以及计算时间, 其结果也具有工程指导意义。

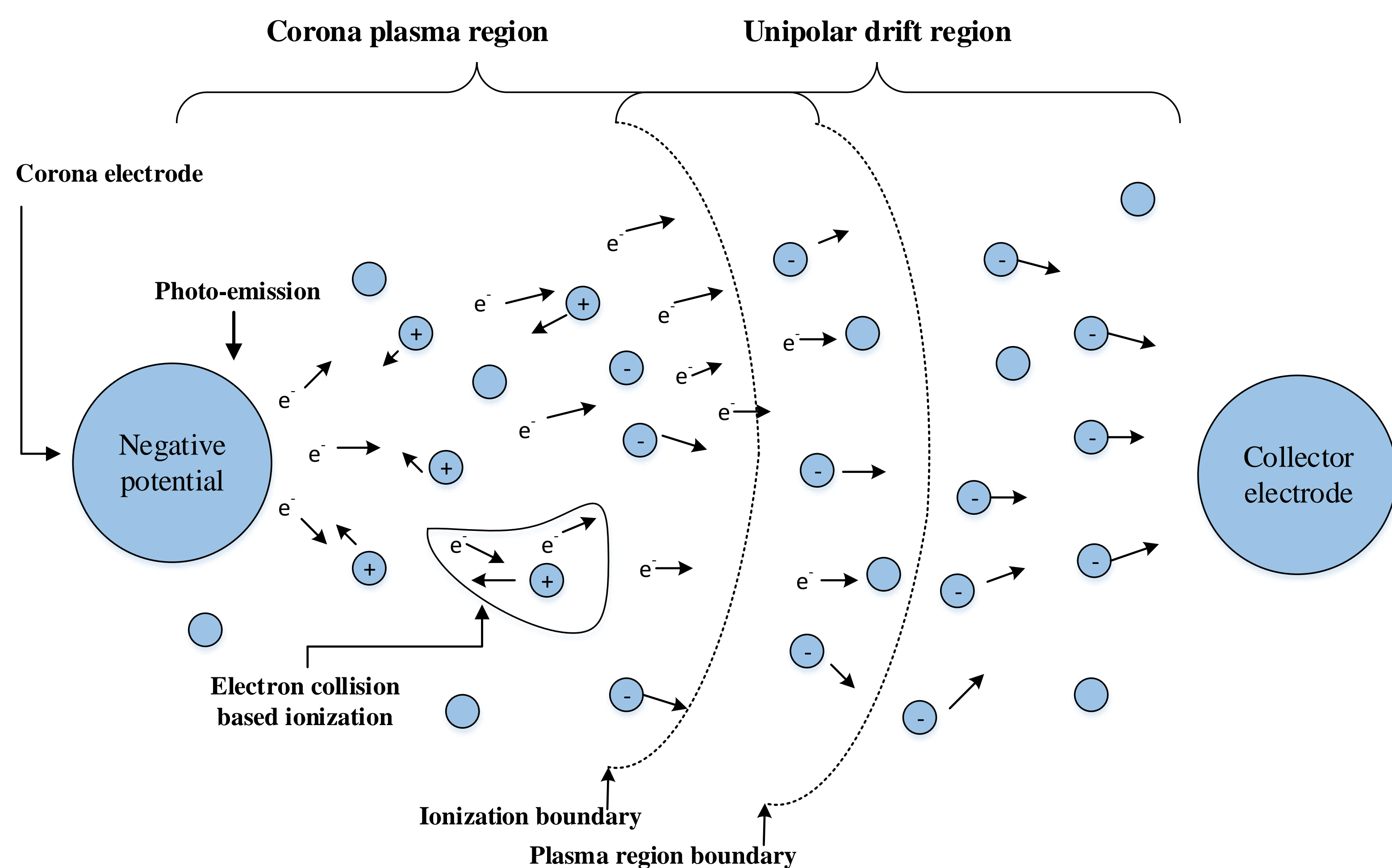


图 1. 电晕放电原理示意图

计算方法:

(1) 控制方程

由泊松方程表示的电势写作:

$$\nabla^2 V = -\frac{q}{\epsilon_0}$$

由电势定义的电场强度E写作:

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

离子在漂移区运动产生的电流的电流密度方程为:

$$\mathbf{J} = \mu_E \mathbf{E} q + U q + D \nabla q$$

电流连续性方程为:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$$

(2) 边界条件

电晕电极表面的电场强度由Peek经验公式给出^[1]:

$$(E_r)_s = E_0 m \delta \left[1 + k / (\delta r)^{1/2} \right]$$

电极表面电荷q边界条件由Kaptsov假设^[2]根据电极表面 E_0 迭代得出。

所用模块: PDE偏微分方程, 静电模块, 优化模块

几何模型: 阵列式线线电极仿真几何结构如图2所示, 取其中红色框为求解域。

仿真结果: 空间负离子浓度云图如图3所示。

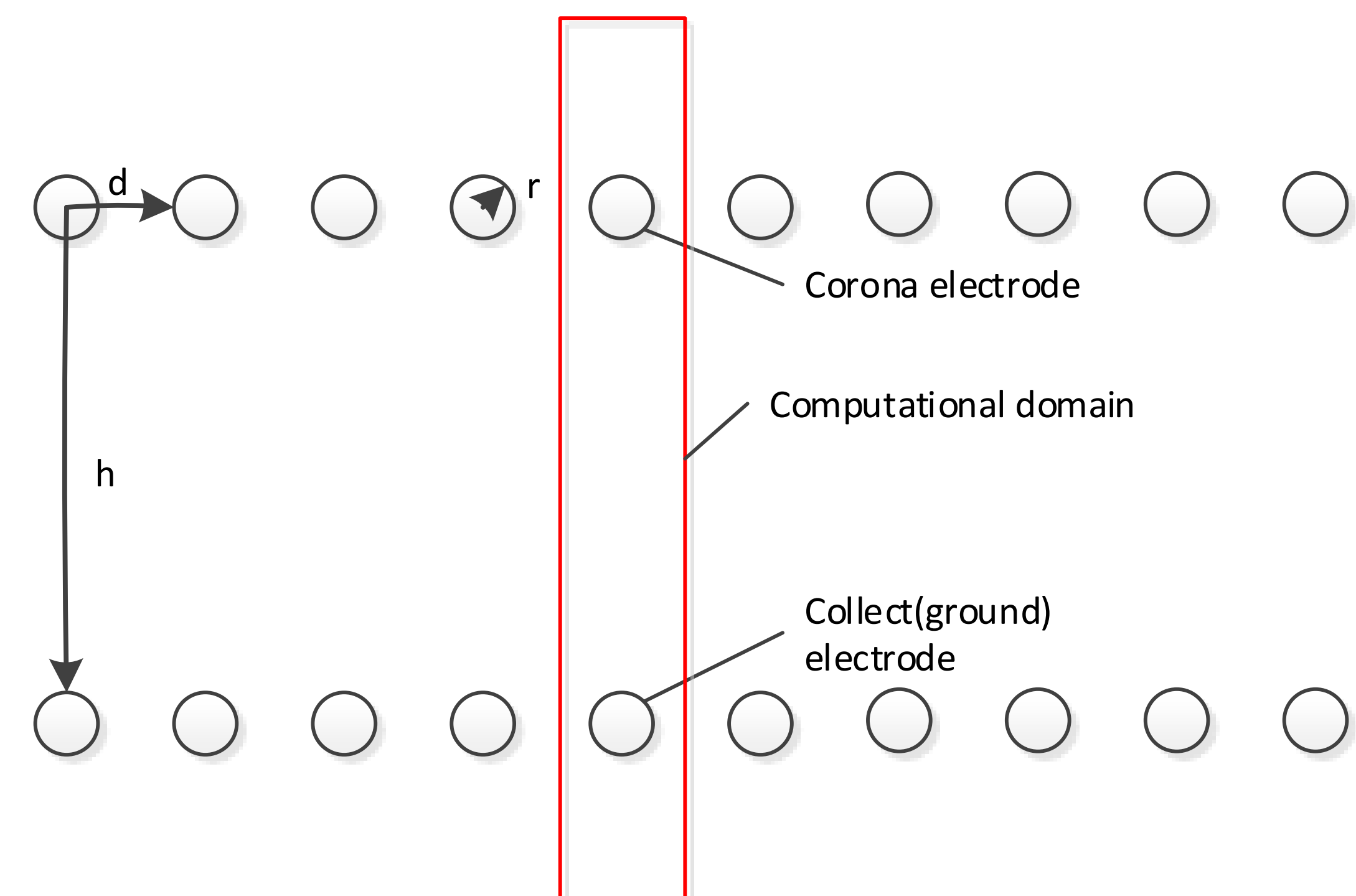


图 2. 阵列式线线电极结构示意图

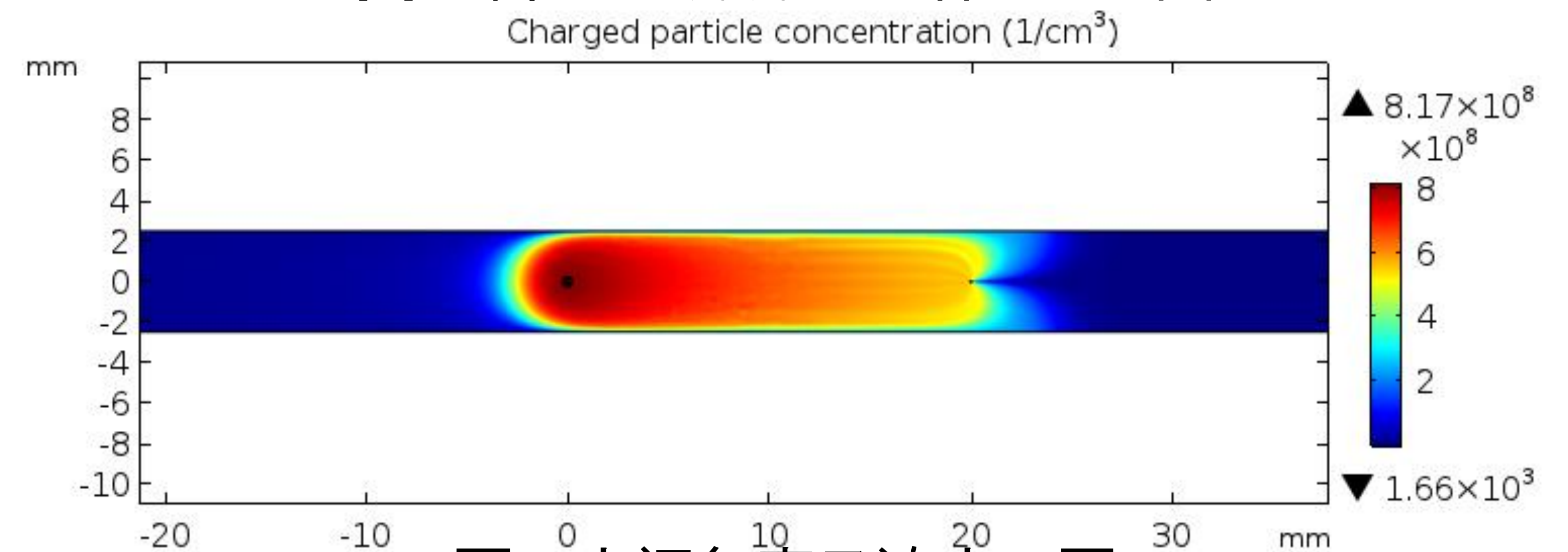


图 3. 空间负离子浓度云图

应用: 用于阵列式电极电晕放电的结构参数优化。例如, 同极性电极间距d为何值, 放电功率最大。条件如下表, 得到以下曲线如图4所示, 定义 $I_{den} = I/d$, 可以看出, 最优同极性电极间距d为7mm。

Symbol	QUANTITY	Value
r1	Corona electrode radius	0.03mm
r2	Collecting electrode radius	0.03mm
d	Distance between same polar electrodes	5mm
h	Distance between opposite polar electrodes	2cm
V0	Applied voltage	-15kV

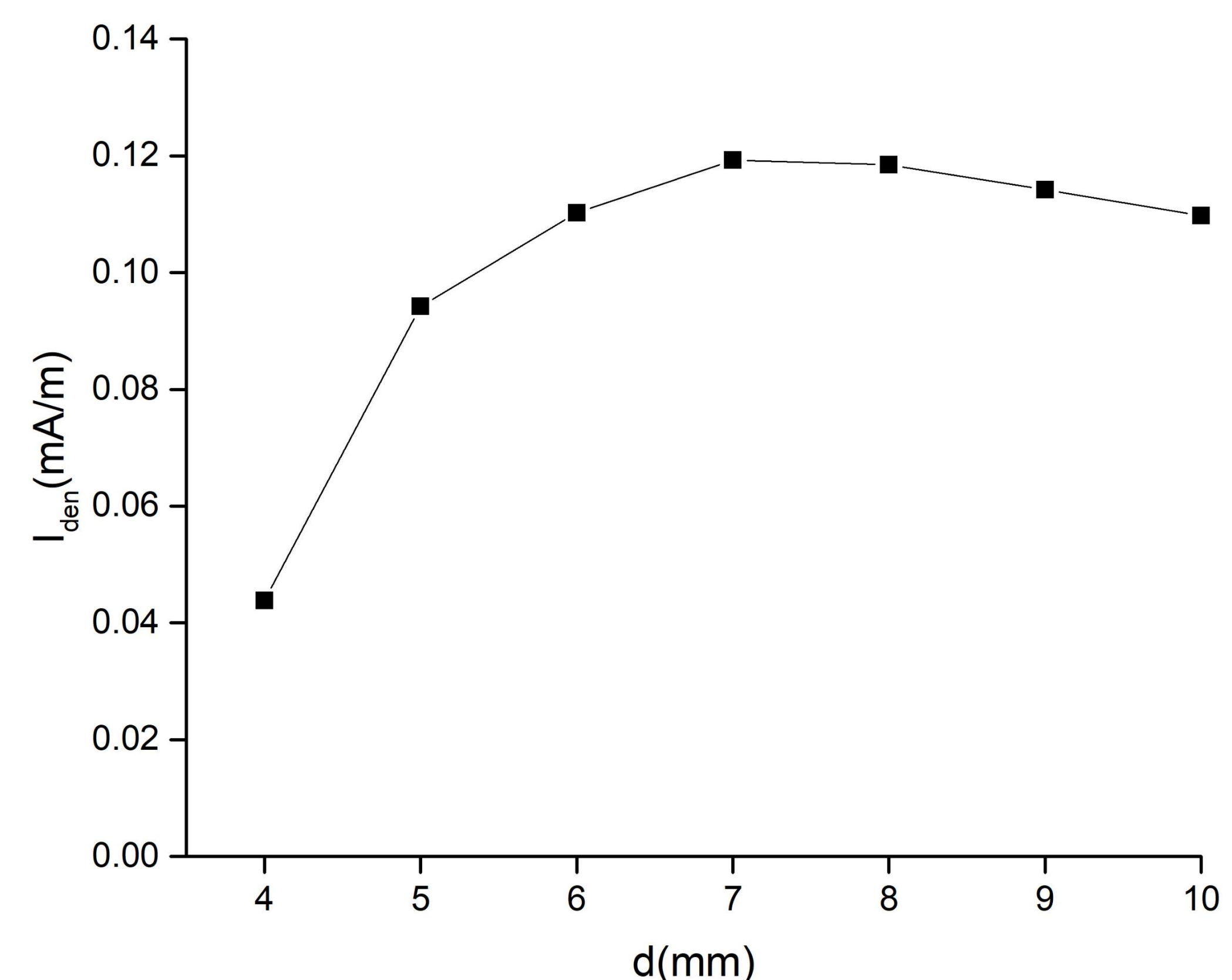


图 4. I_{den} 曲线图

结论: 提出了一种负电晕放电模型的仿真模型。仿真结果与实验结果一致。并提出了一种基于该模型的应用, 提高了阵列式线线电晕放电的效率。未来的工作将集中于该模型在其他几何结构上的应用, 如阵列式针板结构、阵列式针针结构等。

参考文献:

1. F. W. Peek, Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering, New York: McGraw-Hill, 1929.
2. N. A. Kaptsov, Elektricheskie Yavleniya v Gazakh i Vakuume, Moscow, OGIz, 1947.